

Köyceğiz – Dalyan Lagünü su kalitesi modellemesinde tuzluluk simülasyonları

Alpaslan EKDAL^{*}, Ayşegül TANIK

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, ülkemizin oldukça önemli ve hassas ekosistemlerinden biri olan Köyceğiz – Dalyan Lagünü'nün sürdürülebilir yönetimi için, karar vericilere gerekli bilgilerin oluşturulması aşamasında kullanılan karar destek sistemi araçlarından biri olan, su kalitesi modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı tarafından geliştirilen ve 20 yılı aşkın bir süredir su kalitesi modelleme çalışmalarında kullanılan Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) adlı program seçilmiştir. Su kalitesi modelleme çalışmalarında su ortamında maddenin taşınımının sağlanabilmesi için bu modele akımların tanımlanması gerekmektedir. WASP modeline tanımlanan akımların analizi ve kontrolü için de tuzluluk simülasyonları yapılmıştır. Tuzluluk simülasyonlarında elde edilen model sonuçları daha önce bölgede gerçekleştirilmiş olan izleme çalışmalarında ölçülen tuzluluk konsantrasyonları ile karşılaştırılarak model kalibre edilmiştir. Model kalibrasyonu yatay ve dikey Eddy difüzyon katsayıları değiştirilerek sağlanmıştır. Model sonuçlarına göre sistemde iki tabakalı bir akımın olduğu anlaşılmıştır. Akdeniz sınır koşulundan gelen suyun Köyceğiz Gölü sınır koşulunun olduğu bölgede etkisinin az olduğu sonuçlardan görülmüştür. Köyceğiz Gölü sınır koşulundan uzaklaştıkça Akdeniz suyunun etkisinin özellikle de alt tabaka akımlarında yıl boyunca etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ancak, kış aylarında üst tabaka akımlarındaki tuzluluk konsantrasyonu model tarafından 10 ppt'den daha düşük olarak tahmin edilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlardan, kış döneminde Köyceğiz Gölü'nden sisteme giren suyun üst tabaka üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Tuzluluk simülasyonları modele tanımlanan akımların su kalitesi modelleme çalışmalarının gerçekleştirilmesi için yeterli doğrulukta olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Köyceğiz–Dalyan Lagünü, su kalitesi modelleme, Water Quality Analysis Simulation Program (WASP), tuzluluk simülasyonu.

^{*}Yazışmaların yapılacağı yazar: Alpaslan EKDAL. aekdal@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 40.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Water quality modeling of Köyceğiz – Dalyan Lagoon " adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 30.01.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 21.03.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Salinity simulations in the water quality modeling of Köyceğiz-Dalyan Lagoon

Extended abstract

The human activities on coastal ecosystems started to cause severe environmental problems in the last few decades. Therefore, deterioration of these sensitive water resources, which have high economic importance, has become a major environmental concern.

The fast and recent advances in computer technology provided mathematical models to be utilized in the remediation of pollution problems and in understanding how the environment works as a unit. Mathematical models are useful tools, not only for saving time and money, but also for solving ecological problems and for helping the selection of an appropriate management alternative for sustainable management. Therefore, using models has a broader function and they help the users to visualize the problems in detail.

Coastal lagoons act as an interface between the terrestrial and marine environments, therefore, they are affected both by continental and marine influences. Phosphorous and nitrogen loadings have a major impact on the water quality of such sensitive and vulnerable water bodies; thus, control of eutrophication is one of the major problems faced by those responsible of the sustainable development and management of these ecosystems that requires the use of such models to foresee the future status of such natural resources and sensitive water bodies.

In the study, the main objective is application and adaptation of a complex water quality model to a selected complex pilot area, and preparing a guideline for the future water quality modeling studies in such complex systems by emphasizing the difficulties faced in developing countries such as Turkey.

Köyceğiz – Dalyan Lagoon, selected as the area of interest, is one of the most important and sensitive ecosystems in Turkey. The lagoon is located in the southwest of Turkey within the boundaries of Muğla Province along the Mediterranean Sea coast. Two drainage systems comprise the lagoon system. The first drainage system consists of the Köyceğiz Lake, whereas the second one consists of Dalyan Channel Network, Alagöl Lake, Sülüngür Lake and İztuzu

Lake. The Köyceğiz Lake is connected to the Mediterranean Sea via the lagoon and its branches. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP), which is developed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA), was selected as the appropriate model to be implemented to Köyceğiz – Dalyan Lagoon for the study. WASP helps users to interpret and predict water quality responses to natural phenomena and man-made pollution for various pollution management decisions. The model has especially been applied to many water bodies in the USA.

In order to provide the transport of materials in water quality modeling studies, flows and exchanges must be defined to the model. The flows and exchanges, are defined to the model with the data estimated during earlier studies conducted at the same study area. Salinity simulations were conducted for analyzing the flows and exchanges defined to the model. The simulation results were compared with the salinity data collected during the previous field studies conducted in the selected area of interest. The model was calibrated by changing horizontal and vertical eddy diffusion coefficients. 60 salinity simulations were conducted to get the best salinity calibration fit.

According to the salinity simulation results, for the segments which represent the Köyceğiz Lake boundary condition, it is observed that this part of the lagoon is under the continuous effect of the lake. On the other hand, when the salinity simulation results of the other selected segments are analyzed, the predicted concentrations for the segments which represent the bottom layers are always higher than 10 ppt which indicates the dominant effect of the Mediterranean Sea in these parts. However, the predicted salinity concentrations of the segments which represent the upper layers are sometimes lower than 10 ppt during the winter months which lead to the conclusion that Köyceğiz Lake is dominant for this time of the year. The salinity simulation results confirmed that there is a dual layer flow except for the Köyceğiz Lake boundary condition. In general, the simulation results indicate that the flow rates, pathways, exchanges and exchange coefficients are estimated satisfactorily to run the water quality simulations.

Keywords: Köyceğiz–Dalyan Lagoon, water quality modeling, Water Quality Analysis Simulation Program (WASP), salinity simulations.

Giriş

Temiz su kaynakları; içme suyu, sulama, endüstriyel, ulaşım, rekreasyon, balıkçılık vb. farklı yararlı kullanım amaçları için oldukça önem taşımaktadır (Carpenter vd., 1998). Son yıllarda alıcı ortamlara giren kirletici miktarları oldukça artmış ve birçok nehir, göl ve kıyı sularının su kalitelerinin bozulmasına neden olmuştur. Su kaynaklarının kalitesinde meydana gelen bu bozulmalar; doğal sistemlerin, içerisinde bulunan türlerin ve bunların hayatımıza sağladıkları kolaylıkların kaybı olarak da düşünülebilmektedir (EPA, 1996; Postel ve Carpenter, 1997). Ötrofikasyon ve oksijen tüketimi yüzeysel suların kalitesinin bozulmasına neden olan en önemli problemlerdendir. Nütrient (besi maddeleri) girişleri nedeniyle çözünmüş oksijenin azalması ve istenmeyen sucul çoğalmanın hızlanması önemli yüzeysel su kalitesi sorunlarına yol açmaktadır (Erturk vd., 2004). Birçok su ortamında ötrofikasyon azot ve fosfor girişine bağlıdır (Vollenweider, 1968). Bazı kıyı alanlarında ise sistemin jeomorfolojisi, gel-git dalgalarının şekli, sistemin ortalama su derinliği gibi yersel doğal özellikler nedeniyle organik maddenin mineralizasyonu artmakta ve oksijen konsantrasyonu azalarak ötrofikasyon meydana gelmektedir (de Jonge vd., 2002). Doğal ötrofikasyon yanında, insan faaliyetleri sonucu noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen nütrient yükleri nedeniyle de ötrofikasyon meydana gelmektedir. Nütrientler, özellikle tarım alanlarında kullanılan kimyevi ve hayvan gübrelerinden, orman ve kentsel alanlardan gelen yüzeysel akışlardan, atıksu çıkış sularından ve atmosferik birikimden kaynaklanmaktadır (Carpenter vd., 1998; de Jonge vd., 2002; Erturk vd., 2004; Nijboer ve Verdonshot, 2004). Çoğu kez noktasal kaynaklar kontrol altına alındığından, yayılı kaynaklardan gelen nütrientlerin katkısı daha önemli hale gelmektedir (Carpenter vd., 1998; de Jonge vd., 2002; Mainstone ve Parr, 2002).

Ötrofikasyon, haliçlerde ve kıyı sularında da oldukça yaygındır ve hızla genişlemektedir (NRC, 1993; Nixon 1995). Çoğu haliçler ve kıyı ekosistemlerinde azot birincil üretim için

kısıtlayıcı madde olup ötrofikasyona yol açmaktadır (Howarth, 1988; NRC, 1993; Howarth vd., 1996; Nixon vd., 1996). Her ne kadar çoğu haliç ve kıyı sularında ötrofikasyona sebep olan ana etken azot olsa da, fosfor da kıyı ötrofikasyonuna neden olan maddelerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bazı kıyı ekosistemlerinde ise birincil üretimi kontrol eden madde olarak fosfor görülmektedir (Carpenter vd., 1998).

Su kaynakları yönetiminde karar verme sürecinin bir bileşeni olarak yer olan matematik modelleme, 1960'ların sonlarından bu yana çevre bilimlerinde bir araç olarak kullanılmaktadır. Modeller, kirliliğin nedenleri ve etkileri arasındaki ilişkilerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, ötrofikasyonun sucul ekosistemler üzerindeki etkilerinin öngörülebilmesi için modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Nijboer ve Verdonshot, 2004). Modellerin en büyük avantajları ise gelecek için senaryolar oluşturulmasına izin vermeleridir (Erturk vd., 2004). Ayrıca, modeller daha objektif ve güvenilir değerlendirmeler yapma ve öngörülerde bulunma seçeneği sunduklarından dolayı da oldukça yararlıdır (Gertsev ve Gertseva, 2004).

Bu çalışmada, ülkemizin oldukça önemli ve hassas ekosistemlerinden biri olan Köyceğiz – Dalyan Lagünü'nün sürdürülebilir yönetiminin sağlanabilmesi amacıyla, karar vericiler için gerekli bilgilerin oluşturulması aşamasında kullanılabilen karar destek sistemi araçlarından biri olan, su kalitesi modellemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yürütülmesi için Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı tarafından geliştirilen ve 20 yılı aşkın bir süredir su kalitesi modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) adlı program seçilmiştir. Modelle ilgili detaylar Wool vd. (2001)'de verilmektedir. Su kalitesi modelleme çalışmalarında su ortamında maddenin taşınımının sağlanabilmesi için modele akımların mutlaka tanımlanması gerekmektedir. WASP modeline tanımlanan akımların analizi

ve kontrolü için tuzluluk simülasyonları yapılmış ve sonuçları bu makalede sunulmuştur.

Gerçekleştirilen çalışma, Türkiye’de WASP modelinin lagünlere uygulandığı öncü araştırmalardan olup, gelecekte WASP modelinin uygulanacağı benzer çalışmalara bir temel oluşturma ve kılavuzluk etme özelliğini taşımaktadır.

Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Köyceğiz-Dalyan Lagünü, Türkiye’nin güneybatısında Muğla ili sınırları içerisinde, Akdeniz kıyısında yer almakta ve konumu Şekil 1’de verilmektedir. Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası, yaklaşık olarak 1200 km²’lik bir alana sahip olup bunun yaklaşık olarak 130 km²’sini Dalyan alt havzası oluşturmaktadır. Lagün sistemi iki drenaj alanından meydana gelmektedir. Birinci drenaj alanını Köyceğiz Gölü oluştururken, ikincisini Dalyan Kanal Ağı, Alagöl, Sülüngür Gölü ve İztuzu Gölü oluşturmaktadır. Köyceğiz Gölü, lagün ve kanal ağları üzerinden Akdeniz’e bağlanmaktadır. Köyceğiz-Dalyan Lagünü oldukça karmaşık ve dinamik bir yapıya sahip olduğundan, hidrodinamik ve ekolojik özellikler konumsal ve zamansal olarak değişmektedir. Havzanın bir kısmı eşsiz ve yüksek tür çeşitliliğine sahip ekosistemi nedeniyle “Özel Çevre Koruma Bölgesi” olarak ilan edilmiştir.

Havzada yer alan İztuzu Kumsalı, nesli tükenme tehlikesi geçirmekte olan *Caretta caretta* deniz kaplumbağalarının yumurtalarını bıraktığı nadir alanlardan biri olma özelliğini taşımaktadır.

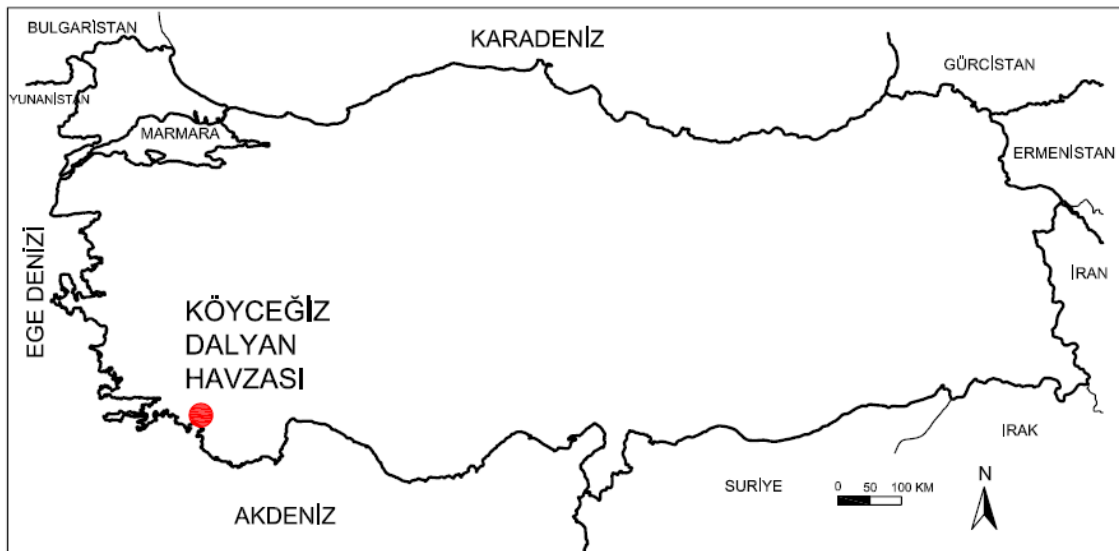
Su kalitesi modelleme

Model seçimi

Köyceğiz-Dalyan Lagünü’nün karmaşık ve dinamik yapısı göz önünde bulundurulduğunda kullanılacak modelin aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Model, sınır koşullarını karakterize eden bileşenleri içermelidir.
- Model hesap ağı, lagün geometrisini temsil edebilmelidir.
- Model, lagündeki taşınım mekanizmasını karakterize edebilmelidir.
- Model, simülasyonu yapılacak kimyasal ve biyokimyasal süreçlerin reaksiyon kinetiklerini ve ilgili su kalitesi/ekosistem bileşenlerini içermelidir.

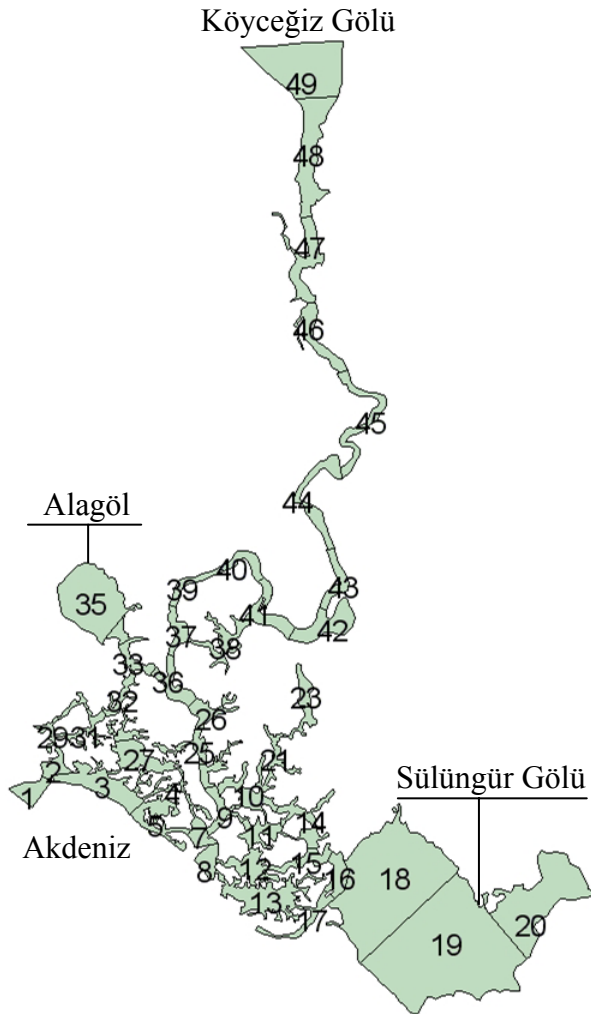
Yukarıda sıralanan özellikler dikkate alınarak yapılan literatür taraması sonucunda, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı tarafından geliştirilen Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) adlı program çalışma alanı için en uygun model olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Köyceğiz – Dalyan Lagünü Havzası’nın konumu

Model ağının oluşturulması

Bir su ortamının fiziksel konfigürasyonu model ağı veya segmentler tarafından temsil edilmektedir. Bu çalışma kapsamında Köyceğiz-Dalyan Lagünü'nün WASP ile modellenenbilmesi için sistem 49 segmente ayrılmıştır. Sistemde tuzluluk gradyanı sonucu oluşan iki tabakalı akım nedeniyle segmentler düşey doğrultuda üst ve alt tabaka segmentleri olarak ikiye ayrılmıştır. Bu nedenle söz konusu sistem toplamda 98 segment ile temsil edilmiştir. 1 ve 49 arasındaki segmentler üst tabakayı temsil etmektedir. Üst tabakayı temsil eden segment numarasına 49 ilave edildiğinde ise bu tabakanın hemen altında bulunan segmentin numarası hesaplanmaktadır. Sistemin üst tabakasını temsil eden WASP segmentleri Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. WASP segmentleri (Ekdal vd., 2005)

Veri analizi

WASP modelinin girdi dosyalarının oluşturulması için gerekli veriler Köyceğiz – Dalyan Lagünü Havzası'nda daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilmiştir (Gürel, 2000; Adalı, 2004; Gönenç vd., 2004). Toplanan veriler, modelin girdi dosyası biçimine uygun hale getirildikten sonra su kalitesi simülasyonları aşamasına geçilmiştir.

Gürel (2000) tarafından gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmasında elde edilen verilerden faydalanılarak su kalitesi modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu izleme çalışmasında 16 istasyondan, iki farklı derinlikten numune alımı gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, WASP modelinin girdi dosyasının oluşturulması sırasında sadece 32 segment için doğrudan başlangıç ve sınır konsantrasyonları tanımlanabilmiştir. Ancak modelin çalıştırılabilmesi için tanımlanmış olan 98 segment için de bu konsantrasyonların girilmiş olması gerekmektedir. Bu nedenle, başlangıç ve sınır konsantrasyonları tanımlanamayan segmentler için izleme çalışmaları sırasında toplanan verilerden faydalanarak interpolasyon yapılmış ve gerekli veriler üretilmiştir.

Dalyan Havzası'ndan gelen karasal kaynaklı kirletici yükler Adalı (2004) tarafından **MO**delling **N**utrient **E**missions in **RI**ver **S**ystems (MONERIS) adlı havza modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerlerden yararlanılarak kirletici yüklerle ilgili veriler WASP modeline girilmiştir. Ancak, MONERIS modeli yükleri toplam azot ve toplam fosfor cinsinden ve ton/yıl biriminde hesaplamaktadır. WASP modeline ise bu verilerin azot türleri ve fosfor türleri olarak girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Adalı (2004) tarafından tahmin edilen toplam azot yükleri amonyak azotu, nitrat azotu, organik azot ve detrital azot olarak, toplam fosfor yükleri ise ortofosfat fosforu, organik fosfor ve detrital fosfor olarak dağıtılmıştır. Ayrıca, yükler WASP modelinin ihtiyacına uygun olarak kg/gün birimine çevrilmiştir.

Yüklerin modele girilmesinin ardından sıcaklık fonksiyonları modele tanımlanmıştır. Bu adımı takiben günlük güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı verileri modele girilmiştir.

Su kalitesi modelleme çalışmaları için oldukça büyük öneme sahip akım verileri ise daha önce bu bölgede akım verilerinin hesaplanması amacıyla yürütülen çalışmalardan elde edilmiştir (Ertürk, 2002; Ekdal vd., 2003; Gönenç vd., 2004; Ekdal vd., 2005). Akımların modele tanımlanmasının ardından, analizlerinin yapılabilmesi için WASP modeli kullanılarak tuzluluk simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

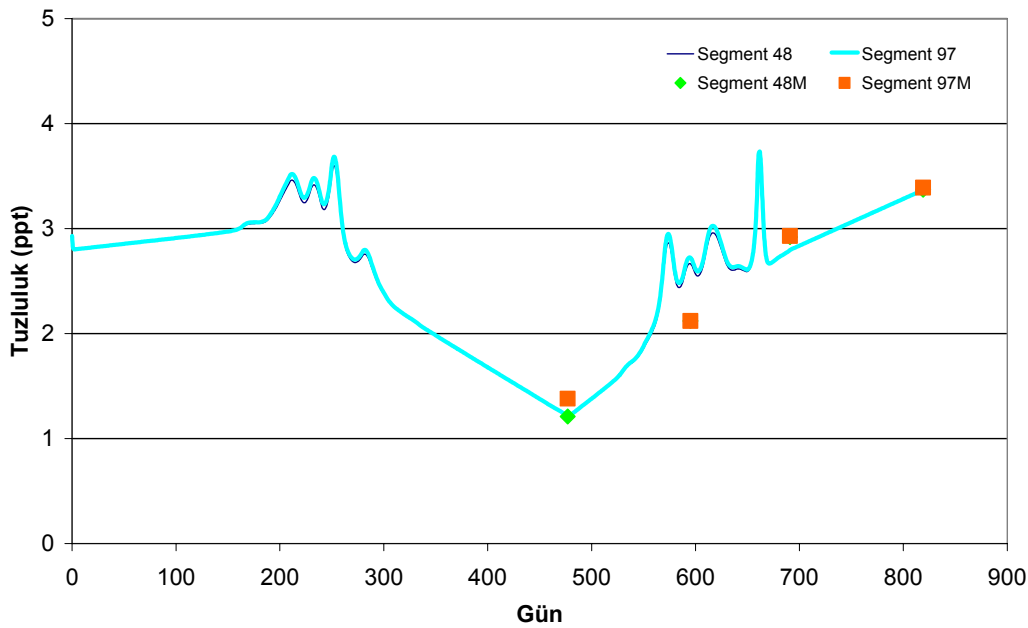
Tuzluluk simülasyonları

Tuzluluk simülasyonları modele tanımlanan akımların analiz edilebilmesi amacıyla yürütülmüş olup model 01.01.1998 ve 30.03.2000 tarihleri arasında çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, Gürel (2000) tarafından su kalitesi izleme çalışmaları sırasında elde edilen tuzluluk verileri ile karşılaştırılmıştır. Model, yatay ve düşey Eddy difüzyon katsayılarının değerleri değiştirilerek kalibre edilmiştir. En iyi kalibrasyonun elde edilebilmesi için 60 adet tuzluluk simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

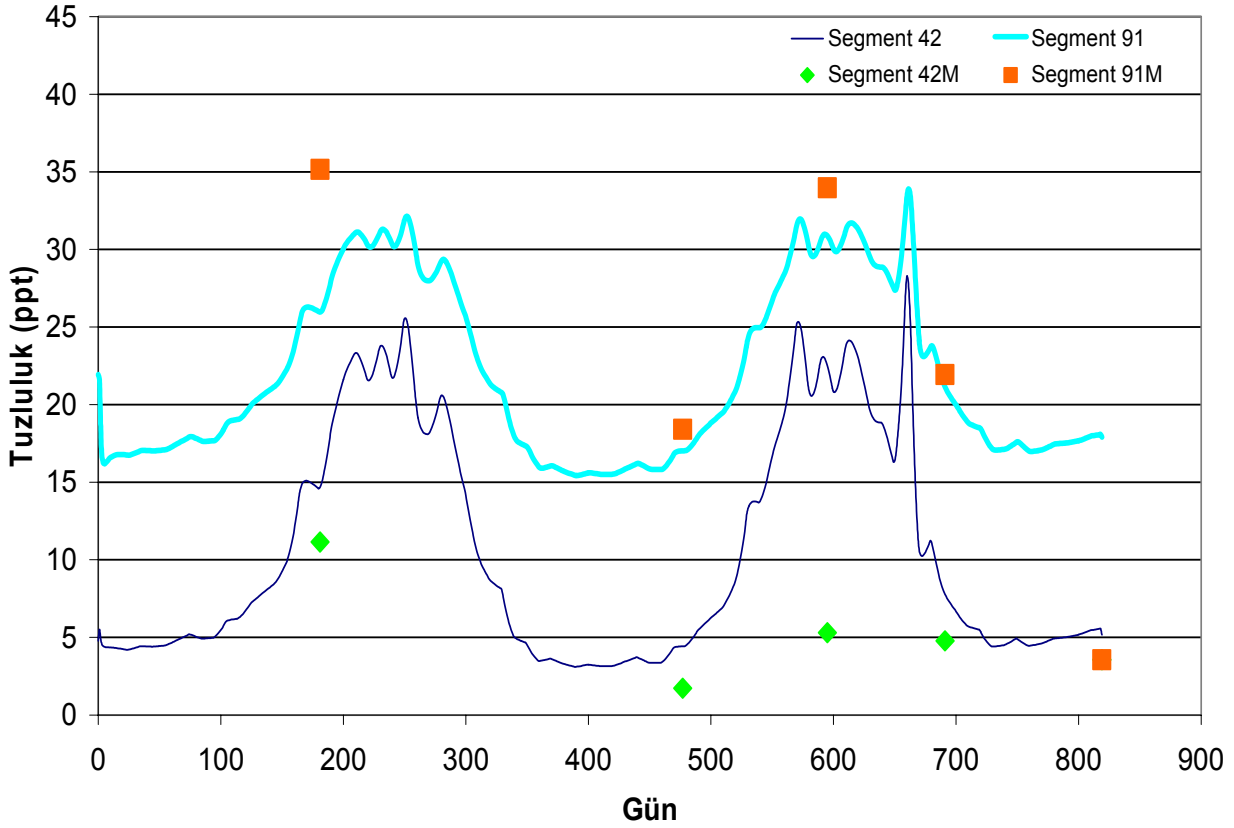
Bu makalede elde edilen en iyi kalibrasyon sonuçları, seçilmiş olan 5 segment için, grafikler halinde verilmiş ve yorumlanmıştır. Grafiklerde eğriler simülasyon sonuçlarını, noktalar ise su kalitesi izleme çalışmaları sırasında ölçülmüş değerleri temsil etmektedir.

Köyceğiz Gölü sınır koşulunu temsil eden Segment 48 ve 97 için en iyi kalibrasyon sonuçlarını gösteren grafik Şekil 3'te verilmektedir. Model, simülasyon süresi boyunca tuzluluk değerlerinin bu segmentler için 1.2 ppt ve 3.6 ppt arasında değişeceğini tahmin etmektedir. Bu segmentler Köyceğiz Gölü sınır koşulunu temsil ettiklerinden, yıl boyunca gölün etkisi altında olmaları beklenmekte ve model sonuçları ile bu teyit edilmektedir.

Şekil 4'ten de görülebileceği gibi Dalyan Kasabası'ndan hemen sonraki üst tabakayı temsil eden Segment 42'ye ait tuzluluk simülasyon sonuçları 3 ppt ve 28 ppt arasında değişmektedir. Model, lagünün bu bölümünde etkili olan sınır koşulunun Köyceğiz Gölü veya Akdeniz olabileceğini tahmin etmektedir. Yaz ve sonbahar aylarında Akdeniz'in baskın olduğu görülürken, yılın geri kalan zamanlarında Köyceğiz Gölü'nün etkili olduğu görülmektedir. Segment 91 için öngörülen tuzluluk değerleri



Şekil 3. Segment 48 ve 97 için elde edilen tuzluluk simülasyon sonuçları ve ölçülmüş değerler



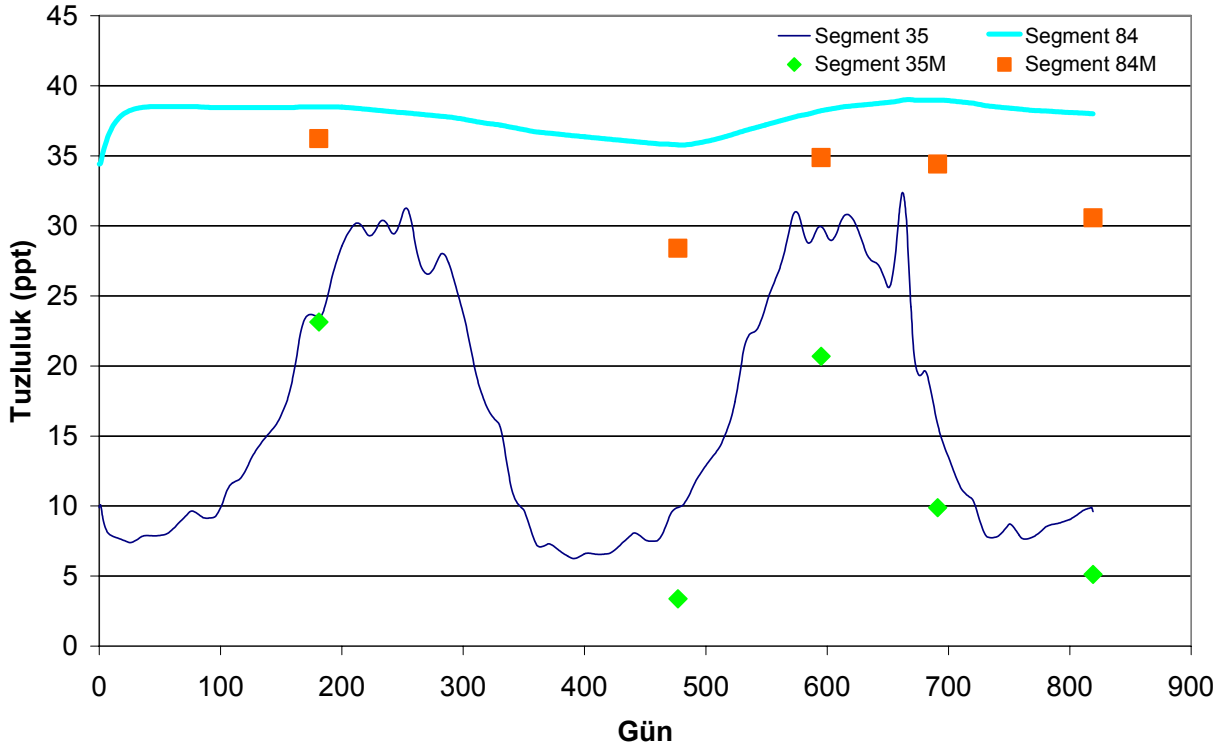
Şekil 4. Segment 42 ve 91 için elde edilen tuzluluk simülasyon sonuçları ve ölçülmüş değerler

15 ppt ve 35 ppt arasında değişmekte olup, bütün yıl boyunca baskın olan sınır koşulunun Akdeniz olduğu anlaşılmaktadır. Tuzluluk ölçüm sonuçları ve Şekil 4'te verilen simülasyon sonuçları incelendiğinde ana kanal boyunca iki tabakalı bir akım olduğu açıkça gözlenmektedir.

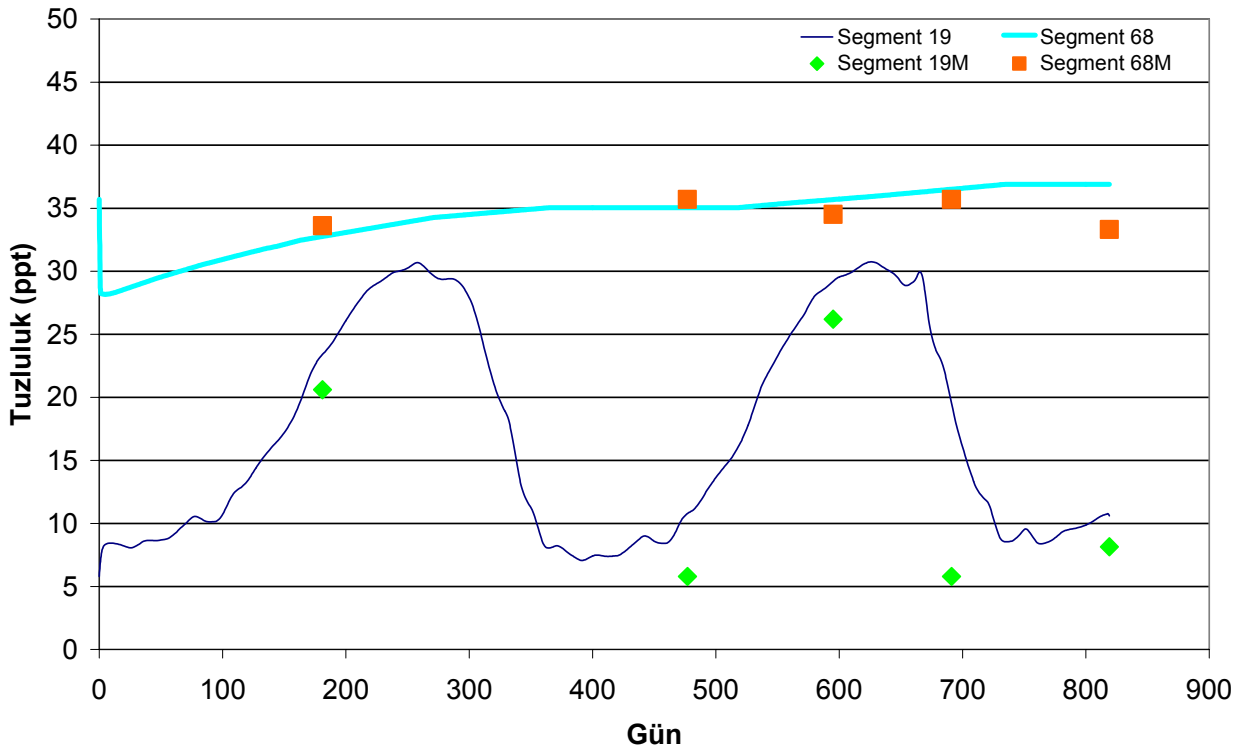
Alagöl'ü temsil eden Segment 35 ve 84'e ait tuzluluk simülasyonu sonuçları Şekil 5'te verilmektedir. Model, üst tabakayı temsil eden Segment 35'e ait değerlerin 6 ppt ve 32 ppt arasında değişebileceğini öngörmektedir. Öngörülen bu tuzluluk konsantrasyonlarının çoğunlukla 10 ppt'den daha büyük olduğu Şekil 5'ten de görülmekte ve Akdeniz sınır koşulunun Köyceğiz Gölü'ne göre daha baskın olduğu anlaşılmaktadır. Alt tabakayı temsil eden Segment 84'e ait sonuçlar incelendiğinde ise konsantrasyonların 35 ppt ve 39 ppt arasında değerler alabileceği görülmektedir. Bu sonuçlar, alt tabakanın yıl boyunca Akdeniz sınır koşulu tarafından etkilendiğini göstermektedir.

Şekil 6'da simülasyon sonuçları verilmekte olan Segment 19 ve 68, Sülüngür Gölü'nün bir kısmını temsil etmektedir. Şekil 6'dan da görülebileceği gibi bu segmentler Alagöl'ü temsil eden Segment 35 ve 84 ile aynı gidişata sahiptirler. Segment 19 için simülasyon sonuçları 7 ppt ve 30 ppt arasında değişirken, Segment 68 için 28 ppt ve 37 ppt arasında değişmektedir. Dolayısıyla, üst tabakayı temsil eden Segment 19'un kısa bir süre için Köyceğiz Gölü etkisi altına girdiği, alt tabakayı temsil eden Segment 68'in ise sürekli olarak Akdeniz etkisi altında kaldığı söylenebilmektedir.

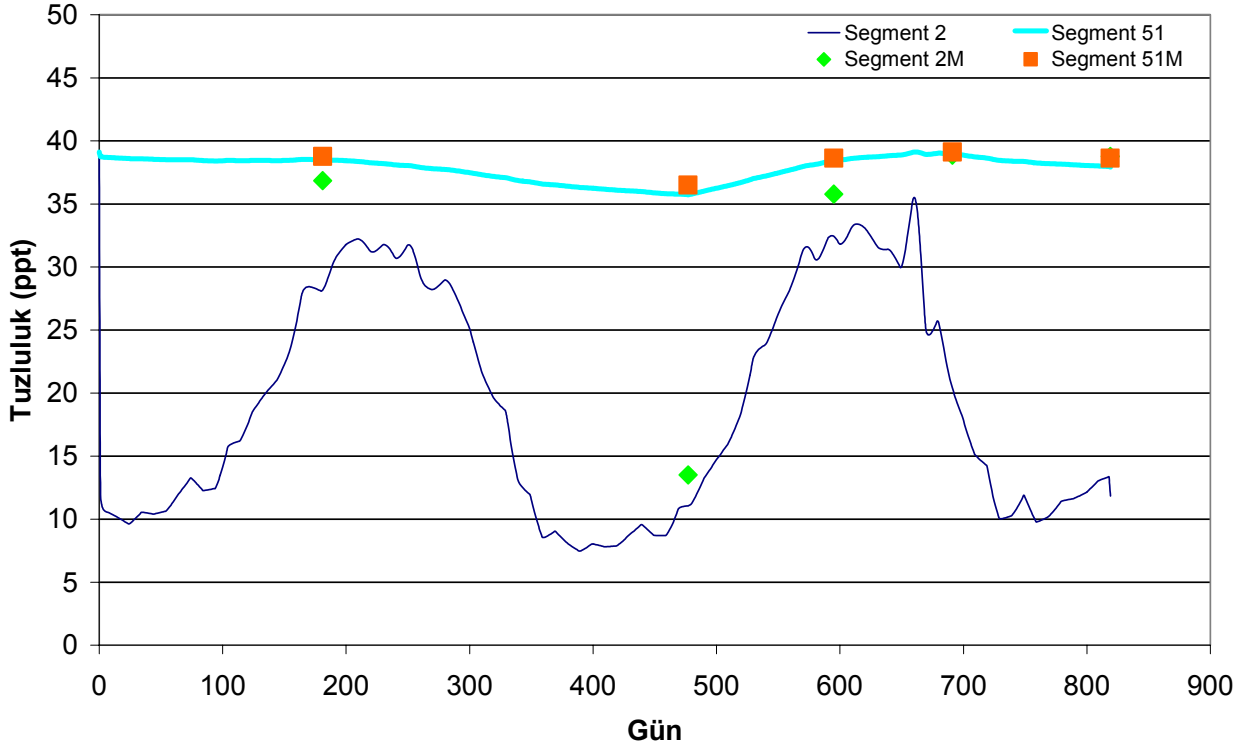
Akdeniz sınır koşulunu temsil eden Segment 2 ve 51'e ait tuzluluk simülasyonu sonuçları Şekil 7'de verilmektedir. Üst tabakayı temsil eden Segment 2 için tahmin edilen tuzluluk değerleri 9 ppt ve 35 ppt arasında değişmektedir. Köyceğiz Gölü'nün bu segment üzerinde kısa bir süre için çok küçük bir etkisinin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Segment 35 ve 84 için elde edilen tuzluluk simülasyon sonuçları ve ölçülmüş değerler



Şekil 6. Segment 19 ve 68 için elde edilen tuzluluk simülasyon sonuçları ve ölçülmüş değerler



Şekil 7. Segment 2 ve 51 için elde edilen tuzluluk simülasyon sonuçları ve ölçülmüş değerler

Segment 2 sistemdeki tek çıkış noktası olduğundan dolayı Köyceğiz Gölü'nden gelen akımlar kısa süreli de olsa salınlara neden olmaktadır. Akdeniz sınır koşulunun alt tabakasını temsil eden Segment 51'e ait simülasyon sonuçları ise ölçümlerle uyumludur.

Sonuçlar

Yapılan tuzluluk simülasyonlarından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

- Seçilen segmentlere ait grafiklerdeki simülasyon sonuçları incelendiğinde, çoğu sonucun izleme çalışmalarında ölçülen tuzluluk konsantrasyonları ile uyum içinde olduğu söylenebilmektedir.
- Alagöl'ün üst ve alt tabakalarını temsil etmekte olan Segment 35 ve 84 için öngörülen tuzluluk konsantrasyonları, ölçülmüş değerlerden daha yüksektir. Bunun nedeni, bu iki segmente sadece yatay dispersiyon ile akım girdiği yönünde yapılmış olan kabul ile izah edilebilmektedir.
- Tuzluluk simülasyonları, Köyceğiz Gölü sınır koşulu dışında, iki tabakalı bir akım olduğunu doğrulamaktadır.

- Genel olarak simülasyon sonuçları, modele tanımlanmış olan akımların, akım yollarının ve difüzyon katsayılarının su kalitesi simülasyonlarının gerçekleştirilmesi için yeterli doğrulukta olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- Adalı, İ. N., (2004). Modelling of nutrient emissions in Köyceğiz Lake-Dalyan Lagoon Watershed – Application of the MONERIS Model, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N. ve Smith, V. H., (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, *Ecological Applications*, **8**, 3, 559-568.
- de Jonge, V. N., Elliott, M. ve Orive, E., (2002). Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication, *Hydrobiologia*, **475/476**, 1-19.
- EPA, (1996). Environmental indicators of water quality in the United States, EPA 841-R-96-002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, (4503F), Washington, DC.

- Ekdal, A., Erturk, A., Gurel, M., Yuceil, K. ve Tanik, A., (2003). Developing a computational framework for estimating inflows to a coastal lagoon from its basin, *Proceedings, Sixth International Symposium & Exhibition on Environmental Contamination in Central & Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States*, Prague (on CD ROM).
- Ekdal, A., Gurel, M., Erturk A. ve Tanik, A., (2005). Hydrodynamic and water quality modeling approach for a dynamic lagoon system, *Proceedings, Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management*, 621-627, Hong Kong.
- Ertürk, A., (2002). Köyceğiz – Dalyan Lagün Sistemi'nin hidrolik modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erturk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Yuceil, K. ve Tanik, A., (2004). Use of mathematical models to estimate the effects of nutrient loadings on small streams, *Fresenius Environmental Bulletin*, **13**, 11b, 1350-1359.
- Gertsev, V. I. ve Gertseva, V. V., (2004). Classification of mathematical models in ecology, *Ecological Modelling*, **178**, 329 – 334.
- Gönenç, İ. E., Tanik, A., Şeker, D. Z., Gürel, M., Ertürk, A., Ekdal, A., Yüceil, K., Köse, C., Beyazgül, M. ve Bilir, Z. L., (2004). Lagünlerin sürdürülebilir yönetimi için ekosistem modellemesi, Final Raporu, TÜBİTAK, Ankara.
- Gürel, M., (2000). Nutrient dynamics in coastal lagoons: Dalyan Lagoon case study, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Howarth, R. W., (1988). Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, **19**, 8, 98-110.
- Howarth, R. W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J. A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, F., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P. ve Zhao-liang, Z., (1996). Regional nitrogen budgets and riverine inputs of N and P for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences, *Biogeochemistry*, **35**, 75-139.
- Mainstone, C. P. ve Parr, W., (2002). Phosphorus in rivers – ecology and management, *Science of the Total Environment*, **282/283**, 25 – 47.
- Nijboer, R. C. ve Verdonchot, P. F. M., (2004). Variable selection for modelling effects of eutrophication on stream and river ecosystems, *Ecological Modelling*, **177**, 17-39.
- Nixon, S. W., (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, causes, and future concerns, *Ophelia*, **41**, 119-219.
- Nixon, S. W., Ammerman, J. W., Atkinson, L. P., Berounsky, V. M., Bilen, G., Boicourt, W. C., Boynton, W. R., Church, T. M., Di Toro, D. M., Elmgren, R., Garber, J., Giblin, A. E., Jahnke, R. A., Owens, J. P., Pilson, M. E. Q. ve Seitzinger, S. P., (1996). The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean, *Biogeochemistry*, **35**, 141-180.
- NRC (National Research Council), (1993). Managing Wastewater in Coastal Urban Areas, National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Postel, S. L. ve Carpenter, S. R. (1997). *Freshwater ecosystem services* in Daily, G. C., ed, *Nature's Services*, Island Press, 195-214, Washington, DC, USA.
- Vollenweider, R. A., (1968). Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication, Teknik Rapor DAS/CSI/68.27, Environmental Directorate, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- Wool, T. A., Ambrose, R. B., Martin, J. L. ve Comer, E. A. 2001. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP), Version 6.0.0.12, User's manual, United States Environmental Protection Agency, Athens, GA.